

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NA DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) DE DIFERENTES IDADES E SUA RELAÇÃO COM A GERAÇÃO DE BIOGÁS

Vol. 38 (Nº 39) Año 2017. Pág. 9

Hioná Valéria Dal Magro FOLLMANN ¹; Waldir Nagel SCHIRMER ²; Alexandre Rodrigues CABRAL ³; Maria Isabel Coltro CROVADOR ⁴; David Cardoso DOURADO ⁵; Erivelton César STROPARO ⁶

Recibido: 23/03/2017 • Aprobado: 12/04/2017

Resumo

O presente trabalho avaliou a influência de parâmetros físico-químicos na degradação de resíduos sólidos urbanos (RSU) de diferentes idades (fresco e 2 anos) bem como a sua relação com a geração de biogás. Os resíduos foram coletados no mesmo dia no aterro, preservados em sacos plásticos e em laboratório foram secados em estufa e moídos. Cada resíduo foi inoculado com lodo proveniente da unidade UASB de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) na proporção 50:1 (50 mL de lodo: 1 g de resíduo), todos em duplicata. Os parâmetros analisados no trabalho (pH, alcalinidade, umidade, NTK, DQO, DBO₅ ST e SV) apresentaram valores semelhantes entre os resíduos indicando que, apesar da diferença de idade, ambos têm quantidades similares de material a ser biodegradado, contam com as mesmas condições necessárias para o processo de digestão anaeróbia e possuem capacidade de gerar quantidades semelhantes de biogás.

Palavras-chave: Aterro sanitário, co-digestão, digestão anaeróbia.

ASSESSMENT OF PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS IN MUNICIPAL SOLID WASTE (MSW) DEGRADATION OF DIFFERENT AGES AND THEIR RELATIONSHIP WITH BIOGAS GENERATION

Abstract

This study evaluated the influence of physicochemical parameters in the degradation of municipal solid waste (MSW) of different ages (fresh and 2 years) as well as its relationship with the generation of biogas. Both wastes were collected at same day in landfill, preserved in plastic bags and, then, dried and ground in lab. Each waste was inoculated with sludge from the UASB reactor of a Wastewater Treatment Plant (WWTP) in the ratio 50: 1 (50 mL sludge: 1 g of residue), all in duplicate. The parameters analyzed (pH, alkalinity, moisture, NTK, COD, BOD₅ ST and SV) were very similar between both residues, and indicated that despite

the age difference, both have the similar amounts of material to be biodegraded, have the same conditions for the process of anaerobic digestion and the ability to generate similar amounts of biogas.

Key-words: Anaerobic digestion, co-digestion, landfill.

Introdução

Um grande problema que vem desafiando governos, empresas e a sociedade é a geração e destinação final de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil, os quais ganharam destaque após o lançamento da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305/2010), no ano de 2010. A Política Nacional de Resíduos Sólidos cria metas para a eliminação de lixões e adota outras formas de tratamento e disposição dos resíduos, como o aterro sanitário, um meio de disposição ambientalmente adequado (BRASIL, 2010). Além dessa vantagem, os aterros sanitários figuram como uma forma viável e segura de destino dos resíduos sólidos (TOSETTO, 2009), tanto por fatores de custo quanto operacionais (ALCÂNTARA, 2007).

Num aterro sanitário, os RSU formam um ecossistema único, em que se desenvolvem diversas comunidades microbiológicas, responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Os principais microrganismos presentes nos resíduos que auxiliam na biodegradação são as bactérias e, em menor escala, os fungos e protozoários (MACIEL, 2009). Para promover a degradação, processos físicos, químicos e biológicos ocorrem na massa de resíduos sólidos (WARITH, LI e JIN, 2005) tendo, como subproduto dessas interações, a produção de resíduos líquidos (lixiviado) e gasosos (orgânicos, inorgânicos, odorantes).

A digestão anaeróbia do RSU é um processo no qual um consórcio de bactérias atua na degradação do resíduo sob diferentes mecanismos e etapas de biodegradação. Diversos fatores influenciam a biodegradação dos resíduos em um aterro e, por consequência, também afetam a taxa de geração do biogás. Nesse caso, deve ser assegurado às bactérias um ambiente livre de oxigênio, com pH próximo à neutralidade, temperatura e umidade adequadas, nutrientes e alcalinidade suficientes, dentre outros parâmetros pertinentes ao processo (RAJESHWARI *et al.*, 2000; TCHOBANOGLIOUS, THEISEN e VIGIL, 1993; USEPA, 1991).

Nesse contexto, também são parâmetros importantes na determinação da estabilização da matéria orgânica o teor de sólidos voláteis (SV) da massa residual (por seu baixo custo e facilidade de determinação), a relação celulose/lignina, o potencial de geração

de metano da amostra (HANSEN *et al.*, 2004; KELLY *et al.*, 2006); podem ainda ser verificados a demanda química e bioquímica de oxigênio (DQO e DBO) (LABATUT, ANGENT e SCOTT, 2011). A taxa com que os substratos serão degradados dependerá em grande parte dessas propriedades.

Além da variação de um aterro para outro, é provável que células de um mesmo aterro, com resíduos de diferentes idades e com conteúdos de matéria orgânica diferenciados possam exibir diferentes taxas de geração e composição de biogás (ALCÂNTARA, 2007) e, preliminarmente, degradação.

A co-digestão é uma forma de melhorar o rendimento do processo de digestão anaeróbia, utilizando um co-substrato junto ao resíduo melhorando, consequentemente, o rendimento do biogás (MATA-ALVAREZ, MACÉ e LLABRÉS, 2000) e reduzindo, significativamente, o tempo de bioestabilização dos resíduos. Muitos autores têm reportado o uso de co-substrato para o melhoramento da biodegradação dos RSU, de forma a acelerar o processo. Nesse sentido, um co-substrato muito utilizado é o lodo de estações de tratamento de efluentes (ETE).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo comparar os parâmetros físico-químicos de resíduos sólidos urbanos de diferentes idades (fresco e de 2 anos) inoculados com lodo de estação de tratamento de efluentes (retirados de unidade UASB), a fim de estimar o potencial de geração de biogás de cada resíduo.

Materiais e métodos

A metodologia da pesquisa baseou-se na realização de análises físico-químicas dos substratos. Para tanto, foram coletados resíduos sólidos no aterro do município de Guarapuava (PR). Optou-se por trabalhar apenas com a fração orgânica dos resíduos, sendo removidos artefatos de plástico, têxtil, metal, papel, madeira e outros de difícil ou prolongado tempo de degradação.

Foram avaliados resíduos orgânicos de duas diferentes idades (fresco, ainda não aterrado, e de 2 anos) de modo a avaliar o potencial de geração de biogás de cada um. Allen, Braithwaite e Hills (1997) afirmam que a composição do biogás depende muito da composição do resíduo e de suas fases de decomposição; daí a importância em se avaliar resíduos de diferentes idades e, portanto, diferentes estágios de decomposição.

Os resíduos foram coletados no mesmo dia no aterro e preservados em sacos plásticos. Já em laboratório, foram secados em estufa a 60 °C até que não se observasse mais

variação de massa. Os resíduos foram então moídos de modo a garantir homogeneidade das amostras, além de aumentar a área superficial do resíduo, uma vez que o tamanho da partícula do substrato é um parâmetro importante na taxa de produção do biogás (reatividade do processo) (ANGELIDAKI *et al.*, 2009; LABATUT, ANGENENT e SCOTT, 2011).

O lodo utilizado como inóculo nos ensaios físico-químicos foi retirado da unidade UASB de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) localizada no município de Irati (PR). A utilização do lodo tende a proporcionar a aceleração da geração de biogás devido ao alto teor de água presente, disponibilizando ainda nutrientes aos microrganismos (ALVES, 2008). O inóculo também confere trabalhabilidade às amostras, facilitando o manuseio e permitindo a determinação dos ensaios físico-químicos.

Todas as amostras de resíduos (fresco e de 2 anos) foram trabalhadas em duplicata e inoculadas (na proporção 50:1 - inóculo:RSU) com o lodo. Esta proporção foi a mesma utilizada por Alves (2008), Maciel (2009) e Schirmer *et al.* (2014) em seus experimentos. Portanto, 1 grama de cada resíduo sólido (fresco e de 2 anos) foi inoculado com 50 mL do lodo.

Os parâmetros analisados do substrato foram: pH, alcalinidade, umidade, nitrogênio total Kjeldahl (NTK), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) e sólidos totais e voláteis (ST e SV), todos avaliados de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Os valores de cada parâmetro foram analisados, por meio da literatura, a fim de avaliar o processo de decomposição de cada resíduo e sua capacidade de geração de biogás.

Resultados e discussão

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros físico-químicos analisados nesse trabalho. As análises permitiram avaliar a qualidade dos resíduos, e desta forma avaliar o processo de degradação e o potencial de geração do biogás.

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos de influência na degradação de RSU de diferentes idades

Amostras

Parâmetros	Unidade	RSU Fresco inoculado 1	RSU Fresco inoculado 2	Média	RSU 2 anos inoculado 1	RSU 2 anos inoculado 2	Média	Inóculo
Umidade	%	-	-	-	-	-	-	29,80
ST	mg/L	74.300	74.100	74.200	72.320	67.900	70.110	39.500
SV	%	56,82	54,95	55,89	59,98	53,25	56,62	47,24
pH	-	6,19	6,22	6,21	6,48	6,49	6,49	6,64
Alcalinidade	mg/L	252	227,50	239,75	427	427	427	206,50
DQO	mg/L	58.300	51.000	54.650	54.100	52.600	53.350	25.900
DBO5	mg/L	3.631,0	3.662,0	3.646,5	3.396,0	3.401,0	3.398,5	2.170,0
DBO5/DQO	mg/L	0,062	0,072	0,067	0,063	0,065	0,064	0,084
NTK	mg/L	3.360	3.097	3.228,5	3.255	2.625	2.940	1.365
Massa de RSU	g	1,0007	1,0006	1,00065	1,0003	1,0005	1,0004	0

Teor de umidade

O teor de umidade é um dos parâmetros mais importantes na degradação de RSU, pois disponibiliza o teor de água necessário para que ocorram as reações químicas e a consequente degradação da matéria orgânica (TCHOBANOGLIOUS, THEISEN e VIGIL, 1993). Além disso, o teor de umidade está também fortemente relacionado à geração de biogás, como mostra os estudos de Alves (2008), em que biorreatores de bancada foram submetidos a diferentes valores de umidade (20%, 40%, 60% e 80%), verificando-se uma maior produção de biogás pelo biorreator com 80% de umidade, e uma menor geração pelo biorreator de 20%, conseguindo-se, respectivamente, 7774,7 NmL e 499,1 NmL de produção acumulada de biogás.

Segundo Barlaz *et al.* (1997), teores de umidade menores que 20% podem dificultar a degradação. Pivato (2004) também afirma que teores de umidade abaixo de 35% reduzem a taxa de degradação de resíduos. Segundo o U.S Army Corps of Engineers (1995), a faixa ideal de umidade situa-se entre 50 a 60%. E valores elevados de até 90% em peso úmido são capazes de aumentar a geração de biogás (USEPA, 1990).

No presente estudo, os resíduos fresco e de 2 anos foram inoculados com lodo e passaram a ter em cada meio um teor de umidade de aproximadamente 30% - relativo ao inóculo. Trata-se de um valor baixo que para alguns autores pode dificultar o processo de

biodigestão e a geração de biogás. Porém, teores baixos também são capazes de promover a degradação de resíduos e a geração de biogás, como mostra os estudos de Alves (2008) em que o teor de umidade de 20% foi capaz de proporcionar a geração de biogás (ainda que inferior aos demais percentuais de umidade), e os estudos de Jucá *et al.* (1999) que resíduos submetidos a um teor de umidade de 40% sofreram altas taxas de decomposição. Portanto, mesmo que abaixo da faixa ideal de umidade para o processo de degradação anaeróbia, o teor de aproximadamente 30% é capaz de favorecer o processo de decomposição dos resíduos (fresco e de 2 anos), pela capacidade em disponibilizar água e nutrientes aos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica. O que não é possível estimar é se os resíduos serão rapidamente biodegradáveis e com geração de biogás compatível àquela verificada em resíduos com teores mais elevados de umidade.

Teor de sólidos voláteis - SV

O teor de sólidos voláteis indica, indiretamente, a quantidade de material presente nos resíduos suscetível de sofrer degradação (FIRMO, 2013). Segundo Kelly (2002), valores menores que 10% estão relacionados a um material já bioestabilizado. Estudos realizados por Firmo (2013) indicaram que o teor de SV é decrescente conforme aumenta o período de decomposição, com valores encontrados para resíduos novos (82,97%), resíduos de 2,5 anos (57,35%), 3,5 anos (46,78%) e 5 anos (14,57%). Nos estudos de Alcântara (2007), o teor de SV encontrado em lisímetros existentes no Aterro da Muribeca foi de 70% para resíduos recém-chegados e 35% para resíduos submetidos a um ano de degradação.

Apesar de ser uma determinação simples, rápida e de baixo custo (HULL *et al.*, 2005; SHALINI, KARTHIKEYAN e JOSEPH, 2010), para Alves (2008) e Firmo (2013), o uso apenas desse parâmetro pode conduzir a interpretações falhas, pois alguns materiais com elevado teor de SV não são biodegradáveis ou apresentam baixa biodegradabilidade, como exemplo de papel/papelão, matérias têxteis, plásticos, tecidos vegetais, borracha e couro.

Na Tabela 1, o teor de SV está expresso como a porcentagem dos sólidos totais e mostra quantidades elevadas de material passível de degradação no RSU fresco (55,89%) e no RSU de 2 anos (56,62%). Esses teores elevados devem-se à presença de grande quantidade de matéria orgânica no meio e indicam que há muito a ser biodegradado ainda. Dada a proximidade entre os valores de SV dos RSU fresco e de 2 anos, pode-se prever quantidades similares de material a ser biodegradado e, teoricamente, volumes próximos de biogás gerados a partir de sua biodigestão (outros parâmetros, evidentemente, devem ser

concomitantemente considerados). Schirmer *et al.* (2014) também trabalharam apenas com a fração orgânica em seus estudos e obtiveram valores elevados e semelhantes de SV para RSU fresco (81%) e RSU de 1 ano (76%) sendo que, após o processo de biodigestão de 80 dias, os valores permaneceram semelhantes – 46% para o resíduo fresco e 40% para o resíduo de 1 ano. Quanto à geração de biogás, esta também foi semelhante nos estudos de Schirmer *et al.* (2014): 1816 NmL de biogás acumulado para resíduo fresco e 1846 NmL de biogás para resíduo de 1 ano.

pH e alcalinidade

O crescimento dos microrganismos em um aterro é influenciado também pela concentração de íons OH^- presentes no meio (CASTILHOS JR. *et al.*, 2003). O pH indica se o meio se encontra alcalino ou ácido. A alcalinidade – medida da quantidade de carbonato no meio – é importante pois na medida em que as bactérias produzem ácidos, o carbonato reage com esses ácidos (ANDREOLI *et al.*, 2003), permitindo a neutralização da acidez, além de precipitar os metais pesados minimizando, desta forma, a ação inibidora que os metais exercem no processo de degradação (MELO, 2003).

O pH no processo de digestão anaeróbia deve estar situado na faixa de 6,3 a 7,8, faixa na qual observa-se a maior eficiência da fase metanogênica (PAES, 2003), pois é preferencialmente em ambiente neutro que as bactérias metanogênicas desenvolvem-se (CASTILHOS JR. *et al.*, 2003), podendo ocorrer sua inibição fora desse intervalo (ANGELIDAKI e WENDY, 2004).

Os valores expressos na Tabela 1 mostram um pH ótimo para o processo de biodigestão tanto do resíduo fresco quanto do resíduo de 2 anos, por seus valores próximos à neutralidade. Ao que se refere à produção de biogás, o pH neutro de ambos os casos permite o desenvolvimento de bactérias metanogênicas e, conseqüentemente, boas condições ambientais para a geração de biogás.

Demanda química e bioquímica de oxigênio - DQO e DBO

Um parâmetro importante e muito utilizado na avaliação da biodegradabilidade de efluentes líquidos é a relação DBO/DQO. Segundo Tchobanoglous, Theisen e Vigil (1993) quando a relação DBO/DQO se encontra entre 0,40 a 0,60 significa que o efluente é facilmente degradável. Samudro e Mangkoedihardjo (2010) afirmam que baixas relações

DBO/DQO, menores que 0,5 podem ser encontradas em efluentes que possuem baixa quantidade de DBO e alta quantidade de DQO.

O lodo utilizado no presente estudo possui relação DBO/DQO inferior a 0,5, em virtude da baixa quantidade de DBO, que corresponde a apenas 8% da DQO. Isso indica que o inóculo não apresenta as melhores condições para promover a degradação biológica dos resíduos.

Nitrogênio total kjeldahl – NTK

O nitrogênio é um nutriente fundamental para o crescimento bacteriano. A sua falta limita a atividade microbiológica (FERNANDES e SOUZA, 2001). Quando ocorre a combinação de nitrogênio orgânico e amônia têm-se o Nitrogênio Total Kjeldahl.

A co-digestão fornece nitrogênio aos microrganismos responsáveis pela degradação dos resíduos, devido à adição de inóculo no meio. Dessa forma, a mistura (resíduo + inóculo) tende a acelerar o processo de biodigestão (LEITE *et al.*, 2003).

Porém, em fortes concentrações, o nitrogênio pode inibir o processo de degradação anaeróbia, sendo fraco o poder de inibição para concentrações entre 1.500 a 3.000 mg/L e forte quando a concentração de nitrogênio for de 3.000 mg/L (CASTILHOS JR. *et al.*, 2003).

Os valores de NTK encontrados na Tabela 1 são de 3.228,5 mg/L para o resíduo fresco e de 2.940 mg/L para o resíduo de 2 anos. Tratam-se, portanto, de valores elevados e semelhantes, constituindo um fator de inibição ao processo de degradação dos resíduo (fresco e de 2 anos). Dessa forma, o parâmetro NTK deve ser controlado para não prejudicar o processo de biodigestão dos resíduos, bem como a geração de biogás.

De um modo geral, ratifica-se que a avaliação concomitante dos parâmetros físico-químicos preliminares às etapas de biodigestão é imprescindível para a previsão do potencial de geração de biogás obtido a partir dos tratamentos avaliados. Ainda assim, alguns parâmetros tendem a prevalecer sobre outros no que se refere à influência no processo de biodigestão. O trabalho de Crovador (2014), em experimento similar àquele conduzido no presente estudo, determinou que os parâmetros que mais influenciaram a geração de biogás nos biodigestores foram o pH, o teor de SV e a umidade. Tomando-se como parâmetro o trabalho de Crovador (2014), que também digeriu a fração orgânica de RSU inoculada com lodo de estação de tratamento de efluentes domésticos em biodigestores de bancada e

condições mesofílicas, os valores aqui encontrados para esses três parâmetros indicam condições favoráveis ao processo de biodigestão e, conseqüentemente, geração de biogás.

Conclusões

Com a realização das análises físico-químicas nesse trabalho foi possível verificar que, apesar da diferença de idade, os resíduos (fresco e de dois anos) apresentam condições semelhantes para o processo de digestão anaeróbia e, portanto, geração de biogás.

O inóculo não possui as melhores condições de biodegradabilidade, porém, ainda assim a biodegradabilidade dos resíduos, indicada pelo teor de SV, revelou que os dois resíduos possuem elevadas quantidades de material passível de degradação.

A adição de inóculo proporcionou a presença de umidade no meio, elemento de fundamental importância para o processo de degradação anaeróbia, pois disponibiliza água e nutrientes necessários para o desenvolvimento dos microrganismos. Além disso, a co-digestão do resíduo com o lodo tende a acelerar o processo de biodigestão e melhorar o rendimento de produção de biogás.

Os parâmetros analisados permitiram avaliar a influência de cada um no processo e sua ação conjunta na condução da biodigestão; apesar de condições favoráveis de pH, umidade e uma elevada quantidade de material a ser degradado, por exemplo, teores de NTK acima da faixa ideal à degradação anaeróbia podem limitar a ação dos microrganismos e prejudicar o processo de tratamento dos resíduos. Dessa forma, a realização do trabalho denota a necessidade do monitoramento dos parâmetros físico-químicos envolvidos no processo de digestão anaeróbia, para que sejam assegurados aos microrganismos condições ótimas para o seu desenvolvimento, para a conseqüente estabilização dos resíduos e geração de biogás.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Brasil, no âmbito do Programa Ciência Sem Fronteiras (CSF).

Referências

ALCÂNTARA, P. B. Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados. 2007. 364f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

ALLEN, M. R.; BRAITHWAITE, A.; HILLS, C. C. Trace organic compounds in landfill gas at seven U.K. waste disposal sites. *Environmental Science Technology*, v.31, p.1054-1061, 1997.

ALVES, I. R. F. S. Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos. 2008. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

ANDREOLI, C. V.; FERREIRA, A. C.; CHERNICHARO, C. A.; BORGES, E. S. M. Secagem e higienização de lodos com aproveitamento do biogás. In: CASSINI, S. T., Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. Cap. 5. p.121-165.

ANGELIDAKI, I.; WENDY, S. Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. *Environmental Science and Bio/Technology*, v.3, p.117-129, 2004.

ANGELIDAKI, I.; ALVES, M.; BOLZONELLA, D.; BORZACCONI, L.; CAMPOS, J. L.; GUWY, A. J.; KALYUZHNYI, S.; JENICEK, P.; VAN LIER, J. B. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water Science & Technology*, v.59, n.05, p.927-934, 2009.

APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 21st edition. Washington. 2005.

BARLAZ, M. A.; ELEAZER, W. E.; ODLE, W. S.; QIAN, X.; WANG, Y. S. Biodegradative Analysis of Municipal Solid Waste in Laboratory-Scale Landfills. Environmental Protection Agency, Estados Unidos, 1997.

BRASIL. Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 03 de outubro de 2010, Seção 1, p.3.

CASTILHOS Jr., A. B.; MEDEIROS, P. A.; FIRTA, I. N.; LUPATINI, G.; SILVA, J. D. Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos. In: CASTILHOS Jr. A. B., Resíduos sólidos urbanos: Aterro sustentável para municípios de pequeno porte. 1ª edição. Florianópolis: RiMa Artes e Textos, 2003. Cap. 2. p.19-50.

CROVADOR, M. I. C.; Potencial de geração de biogás a partir da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos. 2014. 103f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2014.

FERNANDES, F.; SOUZA, S. G. Estabilização de lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V., Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final. 1ª edição. Curitiba: RiMa Artes e Textos, 2001. Cap. 2. p.29-56.

FIRMO, A. L. B. Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos. 2013. 268f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

HANSEN, T. L.; SCHMIDT, J. E.; ANGELIDAKI, I.; MARCA, E.; JANSEN, J. C.; MOSBAEK, H.; CHRISTENSEN, T. H. Method for determination of methane potentials of solid organic waste. *Waste Management*, v.24, n.04, p.393-400, 2004.

HULL, R. M.; KROGMANN, U.; STROM, P. F. Composition and Characteristics of Excavated Materials from a New Jersey Landfill. *Journal of Environmental Engineering*, v.131, n.03, p.478-490, 2005.

JUCÁ, J. F. T.; MONTEIRO, V. E. D.; OLIVEIRA, F. J. S.; MACIEL, F. J. Monitoramento Ambiental do Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca, III Seminário Nacional sobre Resíduos Sólidos Urbanos, Toledo, Paraná. 1999.

KELLY, R. J. Solid waste biodegradation enhancements and the evaluation of analytical methods used to predict waste stability. Master Thesis (Master of Science in Environmental Science and Engineering) - Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg-Virginia, 2002. 66p.

KELLY, R. J.; SHEARER, B. D.; KIM, J.; GOLDSMITH, C. D.; HATER, G. R.; NOVAK, J. T. Relationships between analytical methods utilized as tools in the evaluation of landfill waste stability. *Waste Management*, v.26, n.12, p.1349-1356, 2006.

LABATUT, R. A.; ANGENENT, L. T.; SCOTT, N. R. Biochemical methane potential and biodegradability of complex organic substrates. *Bioresource Technology*, v.102, n.03, p.2255-2264, 2011.

LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; FILHO, P. B.; PINTO, R. O.; CASTILHOS Jr., A. B.; SOARES, H. M.; LIBÂNIO, P. A. C. Bioestabilização de resíduos sólidos orgânicos. In: CASSINI S. T., Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. 1ª edição. Vitória: RiMa Artes e Textos, 2003. Cap. 4. p.95-119.

MACIEL, F. J. Geração de biogás e energia em aterro experimental de resíduos sólidos urbanos. 2009. 333f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

MATA-ALVAREZ, J.; MACÉ, S.; LLABRÉS, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, v.74, n.01, p.3-16, 2000.

MELO, M. C. Uma análise de recalques associada a biodegradação no aterro de resíduos sólidos da Muribeca. 2003. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

PAES, R. F. C. Caracterização do chorume produzido no Aterro da Muribeca – PE. 2003. 150f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB, 2003.

PIVATO, A. Environmental sustainability of landfills: performance-based methodology for assessing the aftercare end-point. Università degli Studi di Padova. Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica, 2004.

RAJESHWARI, K. V.; BALAKRISHNAN, M.; KANSAL, A.; KUSUM LATA; KISHORE, V. V. N. State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.04, n.02, p.135-156, 2000.

SAMUDRO, G.; MANGKOEDIHARDJO, S. Review on BOD, COD and BOD/COD ratio: a triangle zone for toxic, biodegradable and stable levels. *International Journal of Academic Research*, v.02, n.04, p.235-239, 2010.

SHALINI, S. S.; KARTHIKEYAN, O. P.; JOSEPH, K. Biological stability of municipal solid waste from simulated landfills under tropical environment. *Bioresource Technology*, v.101, n.03, p.845-852, 2010.

SCHIRMER, W. N.; JUCÁ, J. F. T.; SCHULER, A. R. P.; HOLANDA, S.; JESUS, L. L. Methane production in anaerobic digestion of organic waste from Recife (Brazil) Landfill: evaluation in refuse of different ages. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v.31, n.02, p.373-384, 2014.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VINIL, S. Integrated solid waste management. *Engineering principles and management issues*. Irwin McGraw-Hill. 1993. 978p.

TOSETTO, V. Avaliação da co-disposição de lodo de tanques sépticos e fração orgânica de resíduos sólidos domiciliares em reatores anaeróbios. 2009. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Characterization of municipal solid waste in the United States: 1990 update. Executive Summary, 1990.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Air Emissions from Municipal Solid Waste Landfills: Background Information for Proposed Standards and Guidelines. Emission Standards Division. 1991.

U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS. Landfill off-gas collection and treatment system. Department of The Army, Washington DC, USA, 1995.

WARITH, M.; LI, X.; JIN, H. Bioreactor landfills: state-of-the-art review. *Emirates Journal for Engineering Research*, v.10, n.01, p.1-14, 2005.